

4 DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

4.1. Diseño del Relleno Sanitario.

4.1.1.- Descripción del sitio.

En lo que respecta al predio destinado para la construcción del relleno sanitario, se encuentra ubicado al sureste de la ciudad de Navojoa, Sonora, aproximadamente a 7 kilómetros del centro de la ciudad; fuera de las proyecciones de crecimiento urbano del Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2001-2004. Su ubicación exacta está dada por las coordenadas extremas $114^{\circ} 45'40''$ de longitud norte y $32^{\circ} 23'07''$ de latitud oeste, su altitud promedio es de 30.5 m.s.n.m.

El predio del Relleno Sanitario está limitado al norte con el predio propiedad del Sr. Germán Federico Bracamontes Obregón, al sur con los predios Las Ánimas y Chinobampo, al oriente con los ranchos La laguna y El Ranchito y al poniente con el predio Las Ánimas.

El sitio cuenta con una superficie de 50 hectáreas disponibles, con una pendiente entre 2% y 3%, contando con algunas profundidades y elevaciones particulares y muy localizadas en el predio.

El sitio seleccionado requiere de trabajos de desmonte ya que la vegetación del lugar es propia del tipo de clima $BW(h')w(e')$, consistente en arbustos y matorrales espinosos de 1.50 m. de altura y algunos árboles como: choyas, mezquites, breas, torotes y chirahui, localizados dentro del sitio.

El tipo de suelo está constituido principalmente por materiales de granulometría fina, indicativos de baja permeabilidad. El nivel de aguas subterráneas descansa a una profundidad promedio de 50 metros.

4.1.2. Parámetros de Diseño.

Bases de Diseño.

Las bases de diseño para el relleno sanitario incluyen aspectos como:

- Determinación de la vida útil del Relleno Sanitario
- Diseño de la celda diaria
- Diseño de franjas
- Diseño de las capas
- Superficie final

- **Métodos de operación**

4.1.2.1 Determinación de la Vida Útil del Relleno Sanitario.

El tiempo que estará en operación el sitio para la disposición de los residuos sólidos está en función del volumen disponible en el sitio seleccionado, del método de operación del relleno sanitario y del volumen de residuos compactados a disponer. Este último, depende además del grado de compactación, de la generación per cápita de la localidad, de la generación de otras fuentes, de los habitantes de la comunidad a servir y de la eficiencia del sistema de recolección.

Generación per cápita.

La generación per cápita promedio de la Cd. de Navjoa, Sonora, se determinó en base a las estimaciones de generación diaria evaluada mediante un muestreo por conglomerados de dos etapas, y la información poblacional proyectada por el Modelo Logístico al 2002. De esta forma se tiene,

$$\text{Generación Per Cápita} = \frac{79,100 \text{ Kg./día}}{112,988 \text{ hab.}} = 0.7 \text{ Kg.—hab./día}$$

Este valor se utiliza en el diseño del Relleno Sanitario, siendo menor al valor promedio de 0.92 Kg/hab/día, determinado por SEDESOL para ciudades del norte del país.

Proyección del número de habitantes

Para determinar el crecimiento futuro de la población o localidad a tratar, se recopilan datos de población en años anteriores, determinadas en los Censos de Población y Vivienda cada 5 o 10 años o empleando otro tipo de fuente que nos permita inferir la población, tales como tomas de agua potable, descargas de drenaje, acometidas de C.F.E., etc.

Posteriormente, con la información obtenida se realizan las proyecciones del crecimiento anual de la población durante todo el período de la vida útil estimada. Para realizar estas proyecciones se utiliza un Modelo Logístico de crecimiento poblacional.

El método logístico para la determinación de la población del 2002 al 2022, es el siguiente:

El modelo en términos de una ecuación diferencial es el siguiente:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k}{a} y(a - y) \text{ donde :}$$

donde:

y : Tamaño de la población en el tiempo t

a : Nivel máximo de la población

k : Una constante que indica el crecimiento en la unidad de tiempo utilizado.

Esta ecuación se resuelve mediante fracciones parciales con la condición inicial y_0 en $t=0$.

Con la información recabada se hará la proyección de los 20 años o más, dependiendo del tiempo estimado. Mediante la información obtenida del Cuaderno Estadístico Municipal de INEGE que representa a Navojoa, el modelo logístico queda determinado por la ecuación:

$$Y_t = \frac{230,000}{1 + 4.969e^{-0.4316t}}$$

Donde Y_t representa la población en el momento t , y el año tomando como base $(t=0)$ es 1950.

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de la proyección de la población por año.

Necesidades Volumétricas.

La estimación de las necesidades volumétricas para disposición de los residuos sólidos durante todo el período de operación, se basa en la generación diaria promedio de 0.7 Kg/hab-día y considerando un crecimiento poblacional dentro del período de 20 años de acuerdo a las proyecciones del método logístico de estimación.

Utilizando un peso volumétrico de los residuos sólidos de 750 Kg/m^3 , se calculan los volúmenes anuales requeridos para su disposición en el Relleno Sanitario. En lo que respecta al material de cubierta total, se estima utilizando una proporción de 4 a 1, esto es por cada 4 m^3 de residuos sólidos dispuestos se requiere 1 m^3 de material de cubierta. El volumen total requerido comprende la suma de los volúmenes de residuos sólidos más el material de cubierta. En la Tabla 4.1 se establecen estos resultados.

Tabla 4.1 Proyecciones de requerimientos volumétricos de residuos sólidos y materiales de cubierta.

AÑO CALENDARIO	POBLACIÓN habs. *	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS			VOLUMEN					
		DIARIA kg/día	ANUAL Ton/año	ANUAL ACUMULADA Ton	DIARIO DE RS m ³ /día	ANUAL DE RS m ³ /año	ANUAL DE MC m ³ /año	ANUAL ACUMULADO		
								RS m ³	RS + MC m ³	
2002	112,988	79,092	28,868.434	28,868.434	105.5	38,508	7,701	38,508	46,209	
2003	114,659	80,261	29,295.375	58,163.809	107.0	39,055	7,811	77,563	93,075	
2004	116,306	81,414	29,716.183	87,879.992	108.6	39,639	7,927	117,202	140,641	
2005	117,929	82,550	30,130.860	118,010.851	110.1	40,187	8,037	157,389	188,865	
2006	119,526	83,668	30,538.893	148,549.744	111.6	40,734	8,146	198,123	237,745	
2007	121,097	84,768	30,940.284	179,490.028	113.0	41,245	8,249	239,368	287,239	
2008	122,640	85,848	31,334.520	210,824.548	114.5	41,793	8,358	281,160	337,390	
2009	124,157	86,910	31,722.114	242,546.661	115.9	42,304	8,460	323,464	388,154	
2010	125,644	87,951	32,102.042	274,648.703	117.3	42,815	8,562	366,278	439,531	
2011	127,102	88,971	32,474.561	307,123.264	118.6	43,289	8,657	409,567	491,477	
2012	128,531	89,972	32,839.671	339,962.935	120.0	43,800	8,760	453,367	544,037	
2013	129,930	90,951	33,197.115	373,160.050	121.3	44,275	8,854	497,642	597,166	
2014	131,299	91,909	33,546.895	406,706.944	122.5	44,713	8,942	542,354	650,821	
2015	132,637	92,846	33,888.754	440,595.698	123.8	45,187	9,037	587,541	705,045	
2016	133,944	93,761	34,222.692	474,818.390	125.0	45,625	9,125	633,166	759,795	
2017	135,221	94,655	34,548.966	509,367.355	126.2	46,063	9,212	679,229	815,070	
2018	136,467	95,527	34,867.319	544,234.674	127.4	46,501	9,300	725,730	870,871	
2019	137,682	96,377	35,177.751	579,412.425	128.5	46,903	9,380	772,633	927,154	
2020	138,866	97,206	35,480.263	614,892.688	129.6	47,304	9,460	819,937	983,918	
2021	140,028	98,020	35,777.154	650,669.842	130.7	47,706	9,541	867,642	1,041,165	
2022	141,162	98,813	36,066.891	686,736.733	131.8	48,107	9,621	915,749	1,098,893	

RS RESIDUOS SOLIDOS

MC VOLUMEN DEL MATERIAL DE CUBIERTA.

* PROYECCIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO LOGÍSTICO.

4.1.2.2 Diseño de la Celda Diaria.

La celda diaria es la conformación de los residuos sólidos dispuestos en un día de trabajo, incluyendo su cobertura con tierra o material del lugar, compactados mecánicamente a la menor dimensión posible (de 600 a 950 kg/m³), de acuerdo al equipo utilizado.

La construcción de celdas inicia en la parte más baja del sitio elegido, facilitando así la operación de compactación y cobertura, estas celdas se van yuxtaponiendo diariamente sirviendo de respaldo la primera de la segunda, ésta de la tercera y así sucesivamente.

Para el diseño de la celda diaria se toman en cuenta los siguientes factores:

- a) Generación diaria de la comunidad a servir, en toneladas.
- b) Peso volumétrico de los residuos sólidos compactados (600 a 950 kg/m³).
- c) Volumen del material de cubierta, en m³.
- d) Frente de trabajo (ancho de la celda), en m.

La generación diaria de la comunidad fue estimada de acuerdo al muestreo por Conglomerados de dos Etapas y el Modelo Logístico Poblacional visto anteriormente. El peso volumétrico considerado para el diseño de la celda diaria es de 600 kg/m³.

Material de Cubierta.

El material de cubierta tiene las siguientes funciones: evitar la proliferación de fauna nociva (como lo son las ratas e insectos), reducir la generación de olores desagradables, evitar la dispersión de los residuos causada por los vientos y conformar una estructura estable y segura de las celdas.

Los espesores y tiempos de exposición recomendados para el material de cubierta son los siguientes:

- Cubierta diaria.- 15 cm de espesor mínimo, exposición hasta 7 días.
- Cubierta intermedia.- 30 cm de espesor mínimo, exposición de 7 a 365 días.
- Cubierta final.- 60 cm de espesor mínimo, exposición mayor a 365 días.

El volumen del material de cubierta requerido depende del área superficial de residuos por cubrir y del espesor de material requerido según el tipo de cubierta. Es deseable

establecer configuración geométrica de las celdas que permitan obtener áreas superficiales de residuos a cubrir mínimas.

Altura de la Celda

La altura de la celda está en función del equipo mecánico utilizado y repercute de forma directa en la cantidad de material de cubierta a utilizar, mientras más alta sea, menor será el material de cubierta.

La altura máxima de la celda puede ser hasta de 5.0 m., la cual incluye el espesor de los residuos sólidos y el material de cubierta requerido. Alturas por arriba de 5 m pueden utilizarse siempre y cuando el equipo de compactación sea muy eficiente, esto para evitar problemas de asentamientos. Para efectos de diseño se recomienda lo siguiente:

- Para rellenos manuales.- alturas de 1.00 a 1.50 m.
- Para rellenos con equipo mecánico.- se recomienda dependiendo del volumen de residuos a disponer diariamente, alturas de 2.00 a 4.00 m.

Una altura promedio de 2.50 m es recomendada en el escenario de que la cantidad de residuos a disponer no rebase los 200 ton/día y se dispone de terreno y material de cubierta suficiente.

La estabilidad de los taludes depende del ángulo del plano en que se apoyan los residuos, y se expresa normalmente en función de su pendiente, largo sobre alto. La pendiente recomendada es de 3:1, puesto que aparte de dar estabilidad al talud facilita la labor de compactación y de colocación del material de cubierta. Si se utiliza un compactador con ruedas de cadenas de acero entonces la pendiente recomendada es de 4:1.

Ancho de la Celda.

El ancho mínimo de la celda o frente de trabajo, depende fundamentalmente de dos factores: del espacio necesario para maniobras del equipo de compactación, y del número de vehículos recolectores que llegan a depositar los residuos sólidos en una hora pico.

La relación al ancho definido por las cuchillas del equipo mecánico, se recomienda que sea del orden de 2 a 2.5 veces el ancho de la misma, esto para facilitar las maniobras del equipo.

En la Tabla 4.2 se presenta la relación del ancho mínimo de celda con respecto a la maniobrabilidad del equipo y el tonelaje diario de residuos sólidos a disponer.

Considerando las toneladas diarias máximas de residuos sólidos que se tendrán de acuerdo a las proyecciones de la Tabla 4.1, el ancho máximo del equipo a utilizar es de 5.5 m. y el ancho mínimo de las celdas de acuerdo a la Tabla 4.2 es de 10 m.

Empleando el criterio del número de vehículos recolectores que llegan al sitio en la hora pico, tenemos que para un ancho del vehículo recolector de 4 m. y 2 vehículos recolectores que coinciden a determinada hora, con aproximadamente 30 minutos como tiempo promedio de descarga, el ancho mínimo de la celda es de 8 m. Para el diseño de celdas fijaremos un frente de trabajo de 8 m.

Tabla 4.2 Ancho mínimo de celda para maniobrabilidad del equipo relacionado con el tonelaje diario de residuos sólidos a disponer.

TONELADAS DIARIAS DE RESIDUOS SOLIDOS	POTENCIA EN CABALLOS DE FUERZA (HP) DEL EQUIPO			LONGITUD DE LAS CUCHILLAS	ANCHO MINIMO DE LAS CELDAS EN METROS
	CARGADOR DE CADENAS TRASCAVO	TRACTOR DE CADENAS BULLDOZER	CARGADOR DE NEUMATICOS		
20-50	<70	<80	<100	HASTA 4.00	8.00
50-130	70-100	80-110	100-120	HASTA 5.50	10.00
130-250	100-130	110-150	120-150	HASTA 6.50	12.00
250-500	130-190	200-335	150-190	HASTA 7.50	15.00

Fuente: Proyecto tipo de relleno sanitario S.I.U.E.

Determinación de las dimensiones de la celda diaria.

El diseño de la celda diaria se determina en base a las toneladas de residuos sólidos proyectados a 20 años, iniciando con el año 2002 y dado que estos residuos sólidos irán

aumentando año con año hasta el 2022, las dimensiones de la celda diaria irán variando con el tiempo.

Al primer año del período, finales del año 2002, se tendrán 28,868.434 ton/año, considerando un peso volumétrico de los residuos compactados de 0.600 ton/m³, el volumen anual de residuos compactados a disponer en celdas diarias es de:

$$\text{Volumen anual de residuos sólidos} = \frac{28,868.434 \text{ ton/año}}{0.600 \text{ ton/m}^3} = \mathbf{48,114.06 \text{ m}^3/\text{año}}$$

El volumen diario promedio se obtiene dividiendo el volumen anual de residuos sólidos entre el número de días laborables en el relleno. Considerando que se trabaja jornada completa de Lunes a Viernes y sólo medio día el Sábado, con descanso en Domingo, el número de días laborables utilizado para fines de diseño es de 287.

Continuando el cálculo para el primer año, el volumen diario promedio nos daría:

$$\text{Volumen diario promedio en primer año} = \frac{48,114.06 \text{ m}^3}{287 \text{ días}} = \mathbf{167.64 \text{ m}^3/\text{día}}$$

La Tabla 4.3 presenta la generación anual de residuos sólidos estimada a partir del muestreo realizado en la Ciudad de Navojoa, y los volúmenes anuales de los mismos considerando una compactación de 0.6 ton/m³ para efectos de diseño de celdas.

Continuando con el cálculo para el primer año, si consideramos un ancho de celda de 8 m, con una altura de los residuos compactados en la celda de 2.5 m, el largo de la celda es de:

$$\text{Largo de la celda} = \frac{167.64}{8 \times 2.5} = \mathbf{8.38 \text{ m.}}$$

Obteniendo así una celda con geometría de su base casi cuadrada para el primer año de operación;

$$\begin{aligned} \text{ANCHO DE CELDA} &= 8.00 \text{ m} \\ \text{LARGO PROMEDIO DE CELDA} &= 8.38 \text{ m} \\ \text{ALTURA DE CELDA} &= 2.50 \text{ m} \end{aligned}$$

Dejando una longitud promedio de la parte superior de la celda (corona) de 1.00 m., tenemos que la pendiente del talud es de aproximadamente 3:1. Utilizando un cargador de cadenas, el volumen del material de cubierta (VMC) empleando el Método constructivo tipo área, dejando un espesor compactado de 30 cm en la parte superior y 15 cm en los laterales tenemos que para una celda diaria aislada es de;

$$\text{VMC} = 0.30(8.38 \times 8) + 0.15(10)^{1/2} \times 2.5(8.38 + 8.00) = 39.54 \text{ m}^3$$

Tabla 4.3 Generación anual proyectada y volumen anual
de residuos sólidos a disponer.

Año calendario	Generación anual ton/año	Volumen anual dispuestos m³/año
2002	28,868.434	48,114.06
2003	29,295.375	48,825.63
2004	29,716.183	49,526.97
2005	30,130.860	50,218.10
2006	30,538.893	50,898.16
2007	30,940.284	51,567.14
2008	31,334.520	52,224.20
2009	31,722.114	52,870.19
2010	32,102.042	53,503.40
2011	32,474.561	54,124.27
2012	32,839.671	54,732.79
2013	33,197.115	55,328.53
2014	33,546.895	55,911.49
2015	33,888.754	56,481.26
2016	34,222.692	57,037.82
2017	34,548.966	57,581.61
2018	34,867.319	58,112.20
2019	35,177.751	58,629.59
2020	35,480.263	59,133.77
2021	35,777.154	59,628.59
2022	36,066.891	60,111.49
VOLUMEN TOTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL RELLENO, en m³		1,144,561.23

Por lo tanto la relación de volumen de residuos sólidos a volumen de material de cubierta (VRS/VMC) es aproximadamente:

$$\text{VRS/VMC} = \frac{167.64}{39.54} = 4.24$$

Resultando por consiguiente que el volumen de material de cubierta representa el 23.6% del volumen de los residuos sólidos, excediéndose un 3.6 % del límite superior recomendado (15 a 20% del volumen de residuos sólidos).

Si se desea aumentar la vida útil del sitio y minimizar los movimientos de material de cubierta, puede colocarse material de cubierta cada tercer día, cubriéndolos provisionalmente con lonas plásticas para evitar que el viento los disperse y que la conformación de la celda se pierda.

En la Tabla 4.4, se presentan las dimensiones de las celdas diarias para cada año de operación, considerando un ancho fijo de 8.0 m. y una altura de celda de 2.5 m.

Tabla 4.4 Dimensiones de las celdas diarias

AÑO	VT, m³/día	MC, m³	VT + MC, m³	H, m	Y, m	X, m	AREA, m²
2002	167.64	39.54	207.18	2.5	8.0	8.38	67.04
2003	170.12	40.00	210.12	2.5	8.0	8.51	68.08
2004	172.57	40.43	213.00	2.5	8.0	8.63	69.04
2005	174.98	40.86	215.84	2.5	8.0	8.75	70.00
2006	177.35	41.29	218.64	2.5	8.0	8.87	70.96

2007	179.68	41.69	221.37	2.5	8.0	8.98	71.84
2008	181.97	42.12	224.09	2.5	8.0	9.10	72.80
2009	184.22	42.51	226.73	2.5	8.0	9.21	73.68
2010	186.42	42.91	229.33	2.5	8.0	9.32	74.56
2011	188.59	43.30	231.89	2.5	8.0	9.43	75.44
2012	190.71	43.70	234.41	2.5	8.0	9.54	76.32
2013	192.78	44.05	236.83	2.5	8.0	9.64	77.12
2014	194.81	44.41	239.22	2.5	8.0	9.74	77.92
2015	196.80	44.77	241.57	2.5	8.0	9.84	78.72
2016	198.74	45.13	243.87	2.5	8.0	9.94	79.52
2017	200.63	45.45	246.08	2.5	8.0	10.03	80.24
2018	202.48	45.78	248.26	2.5	8.0	10.12	80.96
2019	204.28	46.10	250.38	2.5	8.0	10.21	81.68
2020	206.04	46.42	252.46	2.5	8.0	10.30	82.40
2021	207.77	46.74	254.51	2.5	8.0	10.39	83.12
2022	209.45	47.03	256.48	2.5	8.0	10.47	83.76

VT= volumen promedio diario, calculado a partir de la generación anual

H = Altura de la celda (fijada según la capacidad del equipo), m.

Y = Ancho de la celda, (fijada de acuerdo al frente de trabajo), m.

X = Largo promedio de la celda, m.

AREA = Ancho por largo de celda, m².

NOTA: En el dimensionamiento de la celda diaria se consideró sólo el volumen de residuos compactados.

4.1.2.3 Diseño de franjas

Franja es el conjunto de celdas alineadas en un sentido y a un mismo nivel. La longitud de una franja dependerá de las características topográficas del relleno en cuanto a dimensiones y método de construcción.

El diseño de una franja está de acuerdo a la topografía del terreno, iniciando la primer celda de la franja en el extremo de menor nivel, con el propósito de lograr control sobre los líquidos percolados que tienden a escurrir hacia el extremo de cota menor, lo cual facilita su conducción hacia la laguna de evaporación.

Las franjas se deben numerar para calendarizar el relleno sanitario, esta numeración es con subíndices. El primer subíndice indica la capa correspondiente, el segundo el número de franja, y el tercero identifica el número de celda.

Esta numeración sirve de identificación, ya que no necesariamente la construcción de las franjas se realiza en secuencia ordenada desde la primera a la última capa, ya que lo anterior, depende de características topográficas del relleno y de las dificultades encontradas durante la operación principalmente en temporada de lluvia.

4.1.2.4 Diseño de las capas

Al conjunto de celdas que se ubican en un solo nivel (no necesariamente el mismo), se le denomina capa. Las celdas en conjunto forman franjas, y éstas a su vez forman capas. Al conjunto de capas dentro de una delimitación del terreno por los taludes se le llama “Megacelda”.

El número de capas se determina por la altura que se proyecte el relleno sanitario y éste a su vez depende de la topografía y de la cantidad de material de cubierta disponible. Las capas son numeradas de abajo hacia arriba, teniendo como subíndices el número de franja correspondiente.

Para evitar encharcamientos e infiltraciones dentro del relleno, las capas se proyectan con pendientes del 1% al 2%, canalizando superficialmente los escurrimientos, esta pendiente depende de la permeabilidad del material de cubierta.

4.1.2.5 Superficie final

La superficie final de cada megacelda (ver apéndice IV) consta de una cubierta de 60 cm de espesor, compactada en capas de 15 cm. Además de las funciones listadas para la capa intermedia, esta cubierta final debe servir como material base que posibilite la reforestación del terreno. Por lo general se utiliza tierra vegetal para este fin, sin embargo, puede colocarse este tipo de material sólo en la última capa de compactación de 15 cm, dependiendo de la disponibilidad de la cubierta superior removida del sitio durante la etapa de construcción del sitio. Debe tenerse especial cuidado en la selección de plantas y pastos para la reforestación, debido al efecto que puedan tener sobre éstos los gases generados dentro de las celdas.

Peso Volumétrico de los Residuos Compactados.

Para determinar la vida útil del sitio deben considerarse la generación diaria per cápita (0.7 kg/habitantes/día), en conjunto con la capacidad volumétrica del sitio de acuerdo a condiciones particulares como topografía, tipo y características del terreno, tipo de equipo compactador a utilizar. Los pesos volumétricos de los residuos sólidos fluctúan desde:

- 150-300 kg/m³ para residuos en dompes a volteo.
- 400-600 kg/m³ para residuos compactados en vehículos recolectores.
- 600-950 kg/m³ para residuos compactados in situ con maquinaria pesada.

Para fines de diseño se considera un peso volumétrico de 750 kg/m^3 para los residuos compactados en la construcción de celdas del relleno.

Métodos de Relleno Sanitario

Los métodos aplicables para la construcción de rellenos sanitarios son básicamente tres:

- a) Método de Área
- b) Método de Trinchera
- c) Método Combinado

La selección del método depende del perfil topográfico y de las condiciones geológicas del terreno. Los tipos de terreno se pueden clasificar en:

Planos.- Aquellos terrenos con pendientes entre 0 y 5%.

Ondulados.- Son terrenos con partes planas y otras con pendiente media entre 5 y 10%.

Escarpados.- Éstos presentan pendientes muy pronunciadas, mayores al 10%, como en faldas de montañas, cerros o cañadas.

Bancos de préstamo.- Terrenos cuyo uso anterior era de banco de material, presentando grandes oquedades con profundidades entre 5 y 15 m.

Método del área

Este método se utiliza normalmente en cualquier tipo de terreno, sean oquedades, inicio de cañadas, depresiones y en terrenos planos que por su condición geológica y la superficialidad de las aguas freáticas impida la excavación de trincheras.

El método consiste en hacer celdas de dimensiones determinadas por la generación diaria, depositando los residuos sobre un talud, compactándolos y cubriendo con tierra previamente arrimada a la zona de trabajo. Las celdas diarias se van yuxtaponiendo en sentido transversal y/o longitudinalmente.

Método de la trinchera

Este método se utiliza generalmente en terrenos planos, teniéndose la certeza de que las aguas freáticas se encuentran a profundidades suficientes para evitar ser contaminadas.

El procedimiento consiste en abrir zanjas o trincheras a intervalos que sean adecuados para la estabilidad de los taludes, en profundidades del orden de 2 a 3 m., con apoyo de equipo mecánico. Cabe mencionar que la profundidad está limitada por la profundidad del nivel de aguas freáticas y la dureza del terreno, pudiendo tener en ocasiones hasta 7 m de profundidad. La tierra producto de la excavación se utiliza como material de cubierta.

Una vez realizada la zanja, se depositan los residuos sólidos en el fondo, donde se extienden y se compactan con equipo mecánico. Finalmente los residuos se cubren con el material producto de excavación en un espesor que puede ir de los 15 cm hasta los 30 cms, compactando esta cubierta con el mismo equipo mecánico durante el ciclo diario.

Método combinado.

En ocasiones el terreno de un sitio destinado a la disposición de residuos sólidos puede presentar características combinadas de acuerdo a la clasificación expuesta anteriormente. De esta forma la construcción del relleno puede realizarse utilizando la combinación del método de área y el método de trinchera.

Una variante común es el método de la pendiente progresiva o método de la Rampa, en donde los residuos sólidos son esparcidos y compactados sobre un talud.

El material de cubierta se obtiene directamente enfrente del área de trabajo, mediante la realización de una pequeña excavación.

Esta técnica permite el uso más eficiente del sitio de disposición, cuando una sola capa de celdas se construye, en comparación con el método del área, debido a que el material de cubierta no requiere de importarse de banco de préstamo, si no que se encuentra disponible en el sitio.

4.1.2.6 Determinación del método a utilizar para el relleno sanitario.

De acuerdo a las condiciones topográficas del sitio seleccionado (pendientes menores del 5%), a la estructura geológica presentada en los muestreos y sondeos eléctricos, además de considerar el nivel de aguas freáticas del mismo, el método constructivo a aplicarse es el Método Tipo Área para las celdas proyectadas en dicho sitio. Aunque dependiendo del presupuesto asignado, podría ser aceptable comenzar realizando una trinchera de norte a sur en el lado oriente del terreno, e iniciando celdas en la parte más baja de la trinchera.

Las condiciones geológicas y topográficas permiten establecer tres megaceldas de las siguientes dimensiones (ver apéndice IV):

Primera etapa: de 205.09 mts. X 183.78 mts

Segunda etapa: de 205.09 mts. X 213.22 mts.

Tercera etapa de: 151.04 mts. X 256.59 mts.

Las profundidades de corte son variables estableciéndose zonas de corte máximo entre 6 y 8 m. en el lado Oriente del relleno, hasta zonas sin corte y sólo levante de taludes en la zona poniente. Considerándose además que el material, extraído de acuerdo a las recomendaciones geotécnicas, puede utilizarse para la conformación de los taludes en otras zonas de la megacelda.

Para los requerimientos de material de cubierta, algunos estratos del material extraído pueden ser utilizado y a su vez emplear material del sitio anexo al relleno, el cuál cuenta con material suficiente para ser utilizado para este fin.

4.2 Determinación de las necesidades de equipamiento.

Selección del Equipo Mecánico.

Para el adecuado movimiento y compactación de los residuos sólidos y material de cubierta en un relleno sanitario, es necesario utilizar equipo mecánico. Una buena selección del mismo redundará en la economía de la operación del relleno. Con un mayor peso volumétrico de los residuos se abaten los volúmenes de material de cubierta y se prolonga la vida útil del sitio entre otros beneficios.

Para la selección del equipo que ha de utilizarse en un relleno sanitario deben ponderarse los siguientes puntos de acuerdo a las funciones a realizar por el mismo:

- Tonelaje a disponer y su proyección
- Cantidad y tipo de material de cubierta
- Distancia de acarreo del material
- Método utilizado en el relleno
- Necesidades de compactación

- Condiciones climáticas
- Tareas complementarias
- Recursos económicos

4.2.1 Funciones del equipo.

El equipo mecánico a utilizar en el relleno sanitario puede agruparse en tres categorías de acuerdo a las funciones a realizar por el mismo; ya sea en operaciones directamente relacionadas con el manejo de los residuos sólidos, con el manejo del material de cubierta o para utilizarse en otro tipo de funciones de apoyo.

4.2.2 Equipo directamente relacionado con el manejo de residuos sólidos.

La disposición de los residuos sólidos dentro de las celdas del relleno sanitario requiere de equipo mecánico que permita la compactación de los mismos mediante las fuerzas de compresión desarrolladas por el propio peso del equipo al pasar sobre los residuos. Por tal motivo, si se desea una mayor compactación, se requiere de un equipo más pesado o bien de un mayor número de pasadas. El número óptimo de pasadas, depende del contenido de humedad y de la composición de los residuos sólidos. El equipo seleccionado es aquel que para 3 ó 4 pasadas proporciona la compactación deseada durante la operación diaria.

Para cuando el clima pueda afectar la operación del relleno como en el caso de heladas fuertes, o terrenos humedecidos al grado de hacerlos lodosos, se recomienda equipo con cadenas. También se recomienda el uso de maquinaria con cadena cuando se va a recibir escombros producto de demolición.

El método de operación utilizado para el relleno es importante de tomar en cuenta para la selección. Un compactador funciona bien con pendientes suaves del orden de 4:1. El cargador de cadenas es el indicado cuando la pendiente es mayor (3:1) o en métodos de trinchera donde se necesita gran capacidad para excavación y tracción.

Para el servicio de compactación de residuos se propone la adquisición de un tractor de cadenas D6G, considerándolo adecuado para la cantidad de toneladas diarias de residuos sólidos a disponer. Dependiendo de los recursos puede optarse también por un cargador de cadenas.

4.2.3 Equipo utilizado para manejar el material de cubierta.

El manejo del material de cubierta involucra operaciones como excavación, transporte, esparcimiento y compactación. El movimiento de estos materiales depende de las condiciones topográficas del sitio y de las características del material de cubierta disponible.

Es importante que la pendiente superficial del material de cubierta dispuesto y compactado sea la especificada para evitar la erosión del mismo por escurrimientos, con la consiguiente exposición de los residuos sólidos.

Entre los principales equipos utilizados para este fin tenemos: tractor de cadena, cargador de cadena, compactador, trailla remolcada, mototrailla, camión de obra, etc.

Cuando el material de cubierta es arenoso y abrasivo el equipo con ruedas neumáticas es lo recomendable.

De acuerdo a las condiciones del sitio y a los volúmenes de residuos a disponer se propone la compra de un cargador de cadenas para los movimientos del material de cubierta y en un momento dado como auxiliar o complemento en las actividades de compactación.

4.2.4 Equipo que realiza funciones de apoyo.

Existen otras actividades dentro de la operación normal del relleno sanitario, tales como; construcción y mantenimiento de caminos exteriores e interiores, control de polvos, protección contra incendios, etc.

El mantenimiento y construcción de caminos requiere de equipos como: retroexcavadora, motoniveladora y pipas para transporte y rociado de agua para evitar la generación de polvos. Este equipo puede estar de manera permanente en el relleno sanitario, o bien estar disponible en el momento requerido.

Se propone la compra de un vehículo para el movimiento de materiales con capacidad de 6 m³ y otro para el acarreo de agua para riego de caminos interiores y exteriores.

4.3 Características generales de equipos mecánicos de compactación y de manejo de material de cubierta.

Tractor de cadenas.- Un tractor de cadenas es el equipo más usado en los rellenos sanitarios por su versatilidad y por lo general es la primera selección. Se utiliza para hacer los trabajos preliminares de desmonte y preparación del terreno, desmembrando árboles,

sacando tocones y construyendo caminos de acceso y de acarreo. En el esparcimiento de los residuos logra pesos volumétricos de 475 a 600 kg/m³. Es efectivo en pendientes hasta de 3:1. Puede empujar material a distancias hasta de 90 m.

Tiene además la ventaja de que hay una muy amplia gama de tamaños de equipo para el manejo de diferentes volúmenes de residuos.

El equipo está formado por una hoja topadora acoplada a un tractor. La hoja topadora tiene múltiples secciones y tipos, que están formadas con placas de acero que le dan una excepcional resistencia, y está apoyada generalmente en los bastidores de rodillos de carril que resisten las fuerzas de empuje y torsión. Adicionalmente se le instala una cuchilla desgarradora (ripper) que será auxiliar en la excavación y preparación del terreno.

Las herramientas y accesorios que acompañan al tractor son:

- Hoja topadora tipo semi universal
- Desgarrador (ripper)
- Protección contra vuelcos
- Cinturón de seguridad
- Asiento con suspensión
- Juego de herramienta
- Ventilador reversible
- Cilindro de inclinación para la hoja
- Sistema de luces
- Gancho delantero para remolque
- Guarda cárter
- Guarda guías de carriles
- Protección del núcleo del radiador

Cargador de cadenas.- El cargador de cadenas está compuesto de un cucharón acoplado a un tractor, es eficiente para todas las actividades de un relleno sanitario y con su cucharón de uso general o múltiple puede excavar, compactar y transportar material de cobertura, a distancias hasta de 90 mts, también puede recuperar piezas de entre los residuos sólidos para clasificarlas o apilarlas en un sitio distinto al original. Como el tractor de cadenas, también se le acopla un desgarrador para eficientar la excavación en terrenos duros o congelados. Este equipo para algunos operadores es la mejor selección para un relleno sanitario.

Los equipos y accesorios que acompañan al cargador de cadenas son:

- Cucharón
- Desgarrador
- Ventilador reversible
- Protección contra vuelcos
- Cinturón de seguridad
- Cabina
- Juego de herramienta
- Rastrillo para desmontar
- Rastrillo para abrazadera
- Sistema de luces
- Protector para la caja del radiador.

Compactador con ruedas de acero.- Un compactador con ruedas de acero es muy efectivo cuando se requiere esparcir y compactar y cubrir grandes volúmenes de residuos sólidos. Es rápido y con él se logran los mayores pesos volumétricos de compactación. Por lo tanto, el empleo de un compactador con ruedas de acero prolonga la vida útil del relleno sanitario y reduce el material de cubierta. Está formado por un tractor que se desplaza sobre cilindros dentados resistentes a la abrasión que desmenuzan y compactan los residuos sólidos. Adicionalmente tiene una hoja topadora que permite esparcir los residuos. No se utiliza para excavaciones, sin embargo si se puede usar para acarreo de material a distancias menores de 60 m.

4.4. Listado del equipo requerido.

En la Tabla 4.5 se presenta un listado del equipo recomendado para la operación del relleno sanitario:

Tabla 4.5 Equipo requerido para la operación del relleno sanitario

CANT.	EQUIPO	FUNCIÓN
1	Tractor de cadenas modelo D6G marca Caterpillar o equivalente, con una potencia de 155 HP.	Desmote y/o despalde de las áreas de trabajo. Corte o excavación en las celdas del proyecto para utilizar el material de corte como material de cubierta. Esparcir y compactar los residuos sólidos en capas. Compactar el material de cubierta sobre las celdas del relleno sanitario.
1	Cargador frontal marca	Carga del material de desmote y/o despalde.

	Caterpillar con una potencia de 105 HP.	Carga y colocación del material de cubierta sobre las celdas del relleno sanitario. Carga del material requerido para caminos interiores.
1	Vehículo con caja de volteo con capacidad de 6 m ³ .	Acarreo de materiales en general.
1	Vehículo para remolque de pipa de abastecimiento de agua.	Riego de caminos interiores y de acceso exterior. Humectación del material de cubierta antes de su colocación.
1	Vehículo Ford F-350.	Transporte de combustible para equipo mecánico del relleno sanitario.
1	Vehículo pick-up Ford F-150.	Supervisión general de operaciones.